

ROTEIRO p SIMULAÇÃO: LEIS DE NEWTON

Prof. Nildo Loiola Dias

1 OBJETIVOS

- Estudar as Leis de Newton.
- Determinar a aceleração da gravidade local.
- Determinar o coeficiente de atrito estático entre duas superfícies.
- Determinar o coeficiente de atrito cinético entre duas superfícies.

2 MATERIAL

Simulação sobre as leis de Newton: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/leis-de-newton>

3 FUNDAMENTOS

A **Primeira lei de Newton** pode ser enunciada como: “Um corpo permanece em estado de repouso ou velocidade constante (sem aceleração) quando nenhuma força atua sobre ele (ou quando a resultante das forças que atuam sobre ele é zero)”. Assim, se percebemos que um corpo está em repouso ou em movimento com velocidade constante, podemos concluir que a resultante das forças que atuam sobre o mesmo é zero.

A **Segunda Lei de Newton** afirma que um corpo sob a ação de uma força resultante \mathbf{F} , não nula, em um referencial inercial, adquire uma aceleração \mathbf{a} na mesma direção e sentido da força resultante, com magnitude proporcional à intensidade da força \mathbf{F} e inversamente proporcional à massa m do corpo:

$$\mathbf{a} = \mathbf{F}/m \quad (1)$$

No caso particular de uma força \mathbf{F} constante, o corpo de massa m terá uma aceleração \mathbf{a} constante, e o movimento descrito pelo corpo será um Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV). Assim, em uma dimensão, podemos analisar as relações entre essas grandezas usando apenas seus módulos.

$$a = F/m \quad (2)$$

A equação 2 acima pode ser reescrita como:

$$F = ma \quad (3)$$

A equação 3 acima sintetiza a segunda lei de Newton. Ela não é uma definição de força, ela indica que se uma força F (ou uma resultante F), for aplicada sobre um corpo de massa m , o mesmo se deslocará com aceleração a .

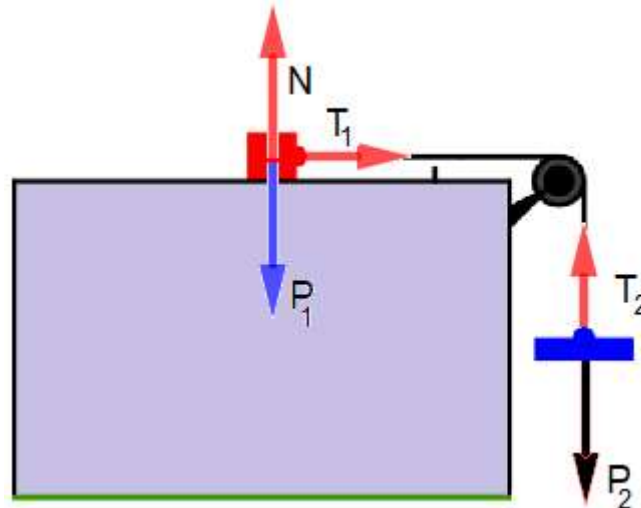
A **Terceira Lei de Newton** pode ser enunciada como segue: “Quando um corpo exerce uma força sobre outro (ação), o segundo exerce uma força sobre o primeiro (reação). Essas duas forças são sempre iguais em intensidade e opostas em sentido”. É importante lembrar que as forças de ação e reação sempre agem em corpos diferentes.

SISTEMA SEM ATRITO

Na simulação **Leis de Newton**, verificaremos como aplicar as leis de Newton. Esta simulação permite o estudo das leis de Newton utilizando um sistema formado por dois blocos ligados por uma corda de massa desprezível que passa por uma roldana ideal. Um dos blocos se desloca sobre uma superfície horizontal e o outro, ligado ao primeiro por uma corda de massa desprezível, se desloca na

vertical. Sobre o bloco 2 atuam o peso do bloco 2, P_2 , e a tensão na corda, T , Figura 1. Sobre o bloco 1 atuam o peso do bloco 1, P_1 , a normal à superfície, N , e a tensão na corda, T (consideraremos inicialmente o sistema sem atrito). Como o bloco 1 não tem movimento na direção vertical, pela primeira lei de Newton podemos concluir que as forças P_1 e normal, N , se anulam.

Figura 1 – Representação das forças sobre o sistema.



Fonte: elaboradas pelo autor.

Aplicando a segunda lei de Newton ao bloco 2, vem:

$$P_2 - T_2 = m_2 a \quad (4)$$

Aplicando a segunda lei de Newton ao bloco 1, vem:

$$T_1 = m_1 a \quad (5)$$

Considerando as forças T_1 e T_2 sobre a corda e aplicando a segunda lei de Newton:

$$T_2 - T_1 = m_c a \quad (6)$$

Considerando a massa da corda desprezível, $m_c = 0$, então:

$$T_1 = T_2 = T \quad (7)$$

Combinando as equações 4, 5 e 7, temos:

$$P_2 = (m_1 + m_2) a \quad (8)$$

$$a = \frac{m_2 g}{m_1 + m_2} \quad (9)$$

Dois cursores permitem escolher as massas m_1 e m_2 . Se o movimento é na Terra ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) podemos calcular o peso P_2 . Por outro lado, a aceleração, a , pode ser determinada medindo-se o tempo de queda t e a altura h , uma vez que o movimento é uniformemente acelerado, com velocidade inicial zero:

$$h = (1/2) a t^2 \quad (10)$$

assim,

$$a = 2 h / t^2 \quad (11)$$

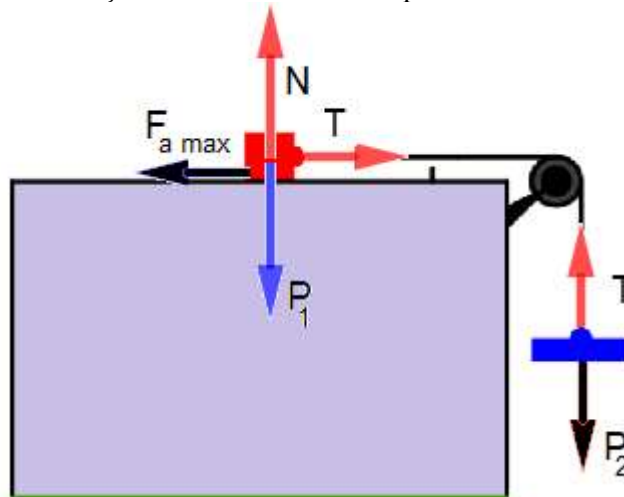
Desta forma, a aceleração obtida de acordo com a Equação 11 poderá ser comparada com aquela baseada na **segunda lei de Newton**, Equação 9.

Com relação à terceira lei de Newton, podemos identificar as forças de ação e reação: considerando P_2 a ação da gravidade da Terra sobre a massa m_2 , a massa m_2 exerce sobre a Terra uma força de reação, puxando a Terra para cima com uma força igual ao peso P_2 . O mesmo vale para o peso P_1 . Também podemos ver que a corda puxa o corpo 1 então o corpo 1 puxa a corda. A superfície horizontal exerce uma força normal, N , para cima, sobre o bloco 1, então o bloco 1 exerce uma reação (N' de igual magnitude) sobre a superfície para baixo.

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO

Vamos considerar que o bloco 1 está parado sobre a superfície horizontal e que devido à atuação da força de tensão T , da corda, Figura 2, o bloco tenha uma tendência de se movimentar para a direita. Devido ao atrito entre o bloco e a superfície horizontal, surge uma força de atrito estático, sobre o bloco 1 que atua ao longo da superfície e em sentido contrário à tendência de deslocamento do mesmo. A força de atrito estático que atua sobre o bloco 1 tem seu módulo igual ao módulo da tensão (**Primeira Lei de Newton**) enquanto o bloco permanece em repouso.

Figura 2 – Representação das forças sobre o sistema em repouso.



Fonte: elaboradas pelo autor.

À medida que a tensão aumenta, a força de atrito também aumenta, até um valor máximo dado por $\mu_e N$ (onde μ_e é o coeficiente de atrito estático e N a força normal). Se a tensão excede essa força de atrito estático máxima, o bloco 1 entra em movimento.

Enquanto o sistema está parado, podemos aplicar a primeira lei de Newton (resultante das forças igual a zero) ao bloco 2:

$$P_2 - T = 0 \text{ ou seja } P_2 = T \quad (12)$$

Considerando que o bloco 1 está na iminência de se deslocar, atua sobre o mesmo a força de atrito máxima. Aplicando a primeira lei de Newton ao bloco 1:

$$T = F_{a \text{ max}} = \mu_e N = \mu_e m_1 g \quad (13)$$

Assim, podemos igualar o peso máximo (para o qual o sistema permanece em repouso), $P_{2\text{max}}$, à força de atrito máxima $\mu_e N$ e determinar o coeficiente de atrito estático:

$$\mu_e = P_{2\text{max}} / N \quad (14)$$

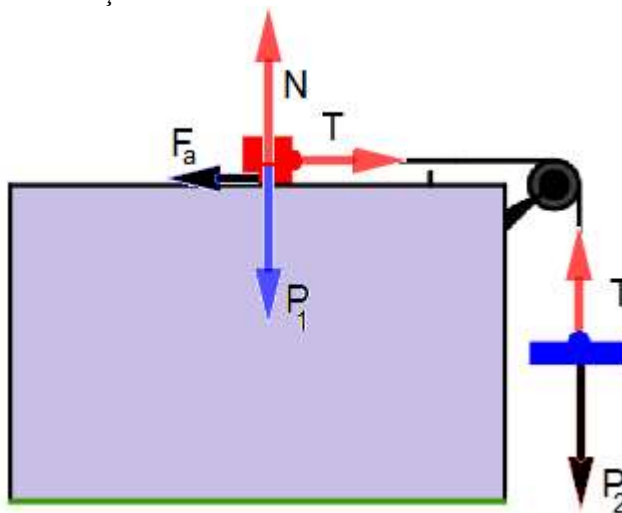
ou ainda:

$$\mu_c = m_{2\max} / m_1 \quad (15)$$

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO CINÉTICO

Se o peso P_2 for maior do que a força de atrito estático máxima, o sistema entrará em movimento acelerado e passará a atuar a força de atrito cinético F_a . Sobre o bloco 1 temos na horizontal a tensão T e a força de atrito F_a , como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Representação das forças sobre o sistema.



Fonte: elaboradas pelo autor.

Na vertical as forças peso, P_1 e a normal, N , se anulam (pois sabemos que não haverá movimento na vertical). Aplicando a segunda lei de Newton, temos:

$$T - F_a = m_1 a \quad (16)$$

Como $F_a = \mu_c N$, onde μ_c é o coeficiente de atrito cinético, podemos reescrever a equação 15, como:

$$T - \mu_c N = m_1 a \quad (17)$$

Aplicando a segunda lei de Newton ao bloco 2, temos:

$$P_2 - T = m_2 a \quad (18)$$

Combinando as equações 17 e 18, obtemos:

$$P_2 - \mu_c N = (m_1 + m_2) a \quad (19)$$

Sabendo que $P_2 = m_2 g$ e $N = m_1 g$, podemos encontrar o coeficiente de atrito cinético:

$$\mu_c = \frac{m_2}{m_1} - \frac{(m_1 + m_2) a}{m_1 g} \quad (20)$$

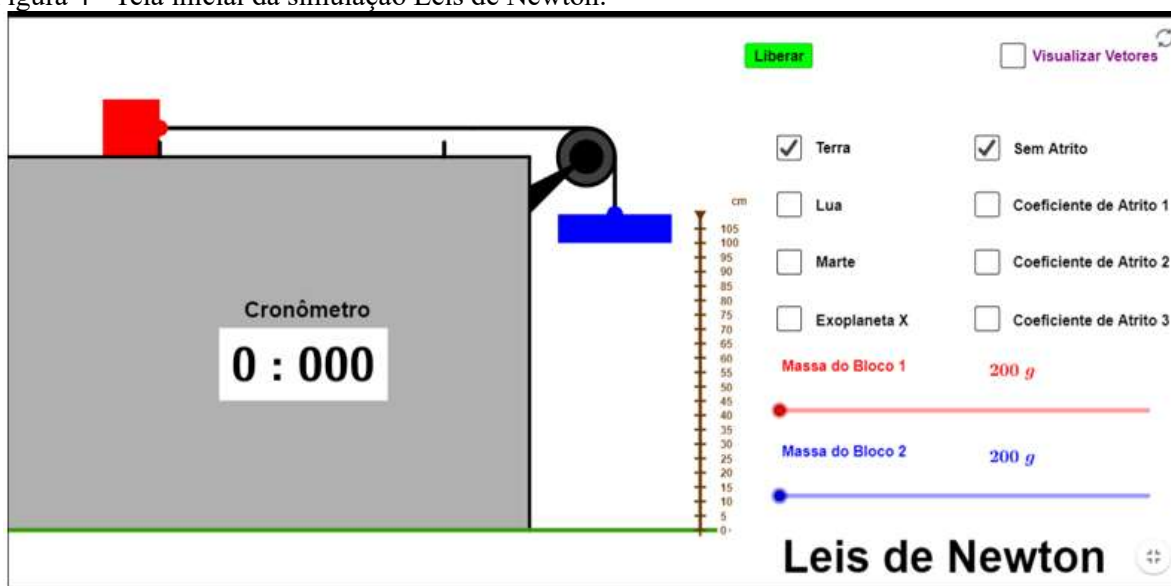
A simulação Leis de Newton permite: estudar a aceleração em função da massa total do sistema, estudar a aceleração em função da força resultante, determinar a aceleração da gravidade local, determinar os coeficientes de atrito estáticos e cinéticos entre o bloco que se movimenta na horizontal e a superfície horizontal. Um cronômetro permite medir o tempo de movimento e com isso calcular a aceleração do sistema de modo a relacionar com a força resultante.

4 PROCEDIMENTOS

Para a realização dos procedimentos a seguir será necessário acessar a simulação Leis de Newton através do link: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/leis-de-newton>

Na Figura 4 podemos ver a tela inicial da simulação sobre Leis de Newton.

Figura 4 - Tela inicial da simulação Leis de Newton.



Fonte: elaborada pelo autor.

PROCEDIMENTO 1: Determinação do coeficiente de atrito estático (**Primeira Lei de Newton**).

- 1.1 Escolha Terra.
- 1.2 Marque Coeficiente de atrito 1.
- 1.3 Faça a massa 1 igual a 300 g.
- 1.4 Determine a massa 2 máxima para a qual o sistema ainda permanece parado. Anote na Tabela 1.
- 1.5 Determine o coeficiente de atrito estático pela equação 15 e anote.
- 1.6 Repita o procedimento para outros valores da massa 1.

Tabela 1 - Resultados para a determinação do coeficiente de atrito estático.

m_1 (g)	m_{2max} (g)	μ_e
300		

PROCEDIMENTO 2: Relação entre Força Resultante e Aceleração ($m = \text{constante}$).

Neste procedimento verificaremos a relação entre a Força Resultante, P_2 , e a aceleração \underline{a} , mantendo a massa total do sistema, $(m_1 + m_2)$, constante (**Segunda Lei de Newton**).

2.1 Marque a opção: Terra e a opção: Sem atrito.

2.2 Escolha na simulação $m_1 = 500$ g e $m_2 = 200$ g como indicado na Tabela 2.

2.3 Some $m_1 + m_2$ (massa total do sistema) e anote. Calcule a Força Resultante, $P_2 = m_2g$ (use $g = 9,81\text{m/s}^2$). Anote.

2.4 Pressione o botão LIBERAR. Com isso o sistema entra em movimento e o cronômetro é acionado. Anote o tempo correspondente na Tabela 1. O cronômetro fornece o tempo em segundos com três casas decimais, como o cronômetro funciona automaticamente (sem acionamento manual para parar) o tempo medido deve ser anotado com três casas decimais. As medidas de tempo apresentam pequenas flutuações para representar os erros experimentais.

2.5 Para cada conjunto de massas, faça três medidas do tempo e calcule o tempo médio.

2.6 Calcule a aceleração do sistema pela equação 11 e anote.

Tabela 2 - Medidas para verificação da relação entre Força Resultante e Aceleração ($m = \text{constante}$).

m_1 (g)	m_2 (g)	$m_1 + m_2$ (g)	P_2 (N)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$t_{\text{médio}}$ (s)	a (m/s^2)
500	200							
450	250							
400	300							
350	350							
300	400							
250	450							
200	500							

PROCEDIMENTO 3: Relação entre Aceleração e Massa (Força Resultante = constante).

Neste procedimento verificaremos a relação entre a aceleração a e a massa total do sistema, ($m_1 + m_2$), mantendo a Força Resultante, (P_2), constante (**Segunda Lei de Newton**).

3.1 Escolha na simulação $m_1 = 200$ g e $m_2 = 500$ g como indicado na Tabela 3.

3.2 Some $m_1 + m_2$ (massa total do sistema) e anote. Calcule a Força Resultante, P_2 (use $g = 9,81\text{m/s}^2$). Anote.

3.3 Para cada conjunto de massas faça três medidas do tempo e calcule o tempo médio.

3.4 Calcule a aceleração do sistema pela equação 11 e anote.

Tabela 3 - Medidas para verificação da relação entre Aceleração e Massa (Força Resultante = constante).

m_1 (g)	m_2 (g)	$m_1 + m_2$ (g)	P_2 (N)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$t_{\text{médio}}$ (s)	a (m/s^2)
200	500							
250	500							
300	500							
350	500							
400	500							
450	500							
500	500							

PROCEDIMENTO 4: Determinação da aceleração da gravidade do Exoplaneta X.

Neste procedimento utilizaremos a **Segunda Lei de Newton** para determinar a aceleração de um planeta.

Considere o sistema sem atrito. Da equação 8 podemos explicitar a aceleração da gravidade:

$$g = (m_1 + m_2)a/m_2 \quad (21)$$

Assim, conhecendo-se as duas massas, m_1 e m_2 bem como a aceleração do sistema é possível determinar a aceleração da gravidade local.

- 4.1 Escolha a opção Exoplaneta X e marque: **Sem atrito**.
- 4.2 Escolha na simulação m_1 e m_2 como indicado na Tabela 4.
- 4.3 Para cada conjunto de massas, faça três medidas do tempo e calcule o tempo médio.
- 4.4 Calcule a aceleração do sistema pela equação 11 e anote.
- 4.5 Calcule a aceleração da gravidade pela equação 21 e anote.

Tabela 4 - Medidas para determinação da aceleração da gravidade do Exoplaneta X.

m_1 (g)	m_2 (g)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$t_{\text{médio}}$ (s)	a (m/s^2)	g_x (m/s^2)
200	200						
300	200						
300	500						

PROCEDIMENTO 5: Determinação do coeficiente de atrito cinético.

Neste procedimento utilizaremos a **Segunda Lei de Newton** para determinar o coeficiente de atrito cinético.

- 5.1 Escolha a opção Terra.
- 5.2 Escolha atrito 1.
- 5.3 Escolha m_1 e m_2 de acordo com os valores indicados na Tabela 5.
- 5.4 Pressione o botão LIBERAR e anote o tempo medido no cronômetro.
- 5.5 Calcule a aceleração do movimento (equação 11) e anote na Tabela 5.
- 5.6 Determine o coeficiente de atrito cinético (equação 19) e anote na Tabela 5.
- 5.7 Repita os procedimentos para os outros valores das massas indicadas na tabela 5.

Tabela 5 - Resultados para a determinação do coeficiente de atrito cinético.

m_1 (g)	m_2 (g)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$t_{\text{médio}}$ (s)	a (m/s^2)	μ_c
200	200						
300	200						
300	500						

5 QUESTIONÁRIO

- 1- Qual o coeficiente de atrito 1 (médio) obtido no procedimento 1?
- 2- Faça o gráfico da aceleração em função da Força Resultante P_2 para os dados da Tabela 2.
- 3- O que representa o coeficiente angular do gráfico da questão anterior? Justifique.
- 4- O gráfico da questão 1 está de acordo com a segunda lei de Newton? Justifique.
- 5- Faça o gráfico da aceleração em função da massa do sistema $m_1 + m_2$ para os dados da Tabela 3.
- 6- O que representa o coeficiente angular do gráfico da questão anterior? Justifique.
- 7- O gráfico da questão 5 está de acordo com a segunda lei de Newton? Justifique.
- 8- Na Figura 1 estão identificadas cinco forças: P_1 , P_2 , T_1 , T_2 e N Para cada força identifique o par ação e reação.
- 9- Preencha a Tabela 6 com base nos resultados da Tabela 2 e compare os valores da aceleração obtidos usando a equação 11 com os valores previstos para a aceleração pela **segunda lei de Newton**, Equação 9. Comente.

Tabela 6 - Comparação entre os valores experimentais e calculados da aceleração.

m_1 (g)	m_2 (g)	a (m/s ²) de acordo com Eq. 11	a (m/s ²) de acordo com Eq. 9
500	200		
450	250		
400	300		
350	350		
300	400		
250	450		
200	500		

10- Qual o valor médio da aceleração do Exoplaneta X? (Média dos valores encontrados na Tabela 4).